

PCT 113 04 / 050 849.



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03101757.7

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 03101757.7
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 16.06.03
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Philips Intellectual Property & Standards
GmbH
Steindamm 94
20099 Hamburg
ALLEMAGNE
Koninklijke Philips Electronics N.V.
Groenewoudseweg 1
5621 BA Eindhoven
PAYS-BAS

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Detektor zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

G01T/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL
PT RO SE SI SK TR LI

BESCHREIBUNG

Detektor zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen

Die Erfindung betrifft einen Detektor zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen. Die Erfindung betrifft weiterhin ein bildgebendes Gerät mit
5 einem solchen Detektor. Die Erfindung betrifft auch eine Methode zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen.

Detektoren zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen werden dann eingesetzt, wenn die Zeitinformation für die Auswertung von Detektordaten
10 wichtig ist oder zeitlich zueinander gehörende Detektionsereignisse festgestellt werden sollen. Dies ist beispielsweise bei der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) der Fall. Mit solchen PET-Geräten werden die Annihilationsquantenpaare gemessen, die bei einer Positronen-Emission in Materie entstehen. Positronen-Emitter (z.B. Fluorverbindungen mit dem Fluorisotop mit Atomzahl 18) werden etwa einem Patienten
15 injiziert und verteilen sich je nach Art der chemischen Verbindung, in der sich der Positronen-Emitter befindet, spezifisch im Körper des Patienten. Im Fall einer Positronen-Emission wird das Positron typischerweise nach wenigen Zehnteln eines Millimeters (mm) mit einem Elektron annihilieren und zwei Gamma-Quanten von je 511 Kiloelektronenvolt (keV) Energie werden im wesentlichen entgegengesetzt
20 abgestrahlt. Mittels eines um den Patienten herum angeordneten Detektors, der Teil des PET-Gerätes ist, werden die Quanten registriert. Zwei Detektionsereignisse werden einem einzigen Annihilationsvorgang zugeordnet, wenn sie in einem Koinzidenzzeitfenster von der Länge weniger Nanosekunden (ns) liegen. Mittels der gemessenen koinzidenten Ereignisse kann die Verteilung des injizierten Positronen-Emitters im
25 Körper des Patienten rekonstruiert werden.

Die Qualität der Messung, der damit verbundenen Rekonstruktion der Verteilung des Positronen-Emitters und die Aussagekraft der aus der gemessenen Verteilung später abzuleitenden Diagnose lassen sich verbessern, wenn der Ort der Annihilation
30 (näherungsweise) bestimmt werden kann. Dazu sind zeitliche Auflösungen von bis zu

0.1 ns oder noch kürzeren Zeiten nötig. Ein solches Verfahren ist das „Time-of-Flight“-PET (TOF-PET).

In der US-Patentanmeldung US 2001/0017352 ist ein Gerät zur Verbesserung der
5 Bildqualität in der Positronen-Emissions-Tomographie bekannt. Dieses Gerät umfasst Photomultiplier, die je an einen Verstärker angeschlossen sind, dem ein Analog-Digital-Wandler (ADC) folgt. Mittels einer im 2 ns-Takt laufenden zentralen digitalen Uhr werden sogenannte Zeitstempel dem digitalen Signal eines Detektionsereignisses nach dem ADC für eine weitere Auswertung zugefügt.

10

Um die hohe zeitliche Auflösung zu gewährleisten, die eine örtliche Zuordnung von Detektionsereignissen zu einem Annihilationsort erlauben, müssen hochfrequente Zeitinformationen oder Triggersignale im Gigahertz(GHz)-Bereich (etwa 1 – 10 GHz) über den ganzen Detektor zu den einzelnen Detektorkanälen bzw. von den einzelnen
15 Kanälen zu einer zentralen Zeiterfassung übertragen werden. Um eine hochgenaue, präzise und verlustfreie Übertragung solcher Frequenzen innerhalb der Detektoranordnung zu gewährleisten, muss hoher technischer und finanzieller Aufwand betrieben werden. Beispielsweise werden schnelle digitale Speicher benötigt. Zusätzlich können die hochfrequenten Signale andere Bauteile, etwa die Verstärker, stören.

20

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, einen Detektor zur Verfügung zu stellen, der zeitlich hochaufgelöste Detektion ermöglicht und dabei die zuvor beschriebenen Probleme vermeidet.

25 Die Aufgabe wird gelöst durch einen Detektor zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen, mit einer Konvertervorrichtung, die im Betriebszustand bei einem Detektionsereignis ein elektrisches Signal liefert, und einer Auswerteelektronik mit mindestens einem Auslöser, der an die Konvertervorrichtung gekoppelt ist und der dazu ausgestattet ist, ein dem elektrischen Signal
30 zeitlich zugeordnetes Auslösesignal zu liefern, mindestens einer ein erstes analoges Zeitsignal liefernden Zeitsignalquelle, und mindestens einen an den Auslöser

gekoppelten ersten Abtaster, der dazu ausgestattet ist, einen dem Auslösesignal zeitlich zugeordneten ersten Momentanwert des ersten analogen Zeitsignals zur Verfügung stellen.

- 5 Ein solcher Detektor bietet den Vorteil, dass keine extrem hochfrequenten Zeitsignale, wie etwa eine sehr schnell zählende digitale Uhr, übertragen werden müssen. Bei dem erfindungsgemäßen Detektor wird ein analoges Zeitsignal verwendet, dessen Frequenzverteilung kontrollierbar ist. Anstatt eines digitalen Clock-Signals wird hier ein analoges Signal übertragen, beispielsweise ein Rampensignal oder ein Sinus-Signal.
- 10 Aus dem abgetasteten analogen Momentanwert kann dann ein Zeitwert berechnet werden. Hohe Frequenzen treten nur lokal bei der schnellen Triggerung (Auslösung) der Abtaster (Sample & Hold-Stufen) auf. Die Detektoranordnung vermeidet dadurch das Auftreten sehr hoher Frequenzkomponenten, die auf anderen Bauteile einwirken könnten.
- 15 Vorteilhafterweise ist das Zeitsignal periodisch, wobei insbesondere sinus- oder kosinusförmige Zeitsignale, etwa $Z_1 = A \sin(\omega_1 t)$, geeignet sind, da sie keine höherfrequenten Signalkomponenten als $f_1 = \omega_1 / 2\pi$ enthalten. Auch andere analoge Signaltypen sind denkbar, wie Sägezahn-Signale oder Dreieck-Signale, die zwar
- 20 hochfrequente Anteile haben, die allerdings durch eine lange Periode unterdrückt werden können.

- In einer anderen Ausführungsform der Erfindung gibt es eine Uhr, die die Zeit in Einheiten eines Eindeutigkeitsintervalls des ersten analogen Zeitsignals misst. Dieses
- 25 Eindeutigkeitsintervall ist das Zeitintervall, in dem der abgetastete Momentanwert eindeutig ist, d.h. in dem diesen Momentanwert nur einmal auftritt. Die erreichbare Zeitauflösung wird durch die Genauigkeit der Abtastung bestimmt. Durch diese mit niedriger Frequenz zählende Uhr kann die Zeitspanne, in der Detektionsereignisse zeitlich zugeordnet werden können, um den Faktor möglicher Uhrwerte erhöht werden.

30

Eine andere erfindungsgemäße Ausführungsform des Detektors hat mehrere Detektor-

kanäle und zu jedem Detektorkanal gehört je ein Auslöser und ein Abtaster. Mit mehreren Detektorkanälen können gleichzeitig an verschiedenen Orten Detektionsereignisse registriert werden. Durch die präzise Zeitzuordnung wird dann ein Vergleich der jeweiligen Zeitwerte möglich. Dies ist z.B. von Vorteil bei TOF-PET, da dann zwei
5 Detektionsereignisse einem Zeitfenster zugeordnet werden müssen und die Einzelereignisse jeweils mit hoher Präzision (etwa mit einer Genauigkeit von 0.1 ns) registriert werden müssen.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung ist gegeben, wenn es eine
10 zweite Zeitsignalquelle gibt, von deren Zeitsignal ein zweiter Momentanwert abgetastet werden kann. Liegen unterschiedliche Zeitsignalverläufe vor, dann wird ein Momentanwert-Tupel (Momentanwert-Tupel: in diesem Fall also die Kombination der beiden gemessenen Momentanwerte) zur Verfügung gestellt, das zur weiteren Berechnung eines Zeitwerts verwendet werden kann. Bei zwei phasenverschobenen, sinusförmigen
15 Signalen gleicher Frequenz ergibt sich ein Eindeutigkeitsintervall des Momentanwert-Tupels, das der Periode der sinusförmigen Zeitsignale entspricht. Führt die Phasenverschiebung zu orthogonalen Signalen (befindet sich also das eine Signal beim Nulldurchgang, während sich das andere Signal im Maximum bzw. Minimum befindet), dann ist die Zeitbestimmung deswegen vorteilhaft möglich, da sich immer ein
20 Signal in einem Zustand mit deutlich von Null verschiedener Steigung befindet, während das andere Signal sich in einem Zustand mit einer von Null nur gering unterschiedlichen Steigung bzw. in einem Zustand mit Steigung Null befindet. Dies ist deshalb vorteilhaft, da dann die Genauigkeit der Zeitbestimmung nicht durch die Genauigkeit der Abtastung in den steigungsarmen Zonen eines der Zeitsignale begrenzt
25 wird.

Bei einer Ausführungsform mit zwei Zeitsignalen kann auch die zweite Zeitsignalquelle an die erste Zeitsignalquelle gekoppelt sein. Dies erlaubt dann eine Ausführung mit einer zentralen Zeitsignalquelle, die etwa verschiedene Detektorkanäle versorgt und mit
30 einer weiteren, lokal angeordneten Zeitquelle, die das zweite Zeitsignal in Abhängigkeit des ersten Zeitsignals erzeugt.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform ist dann gegeben, wenn eine Zeitberechnungseinheit vorgesehen ist, die aus dem abgetasteten Momentanwert des Zeitsignals einen Zeitwert berechnet. Die Zeitwerte der einzelnen Detektionsereignisse können
5 dann direkt miteinander verglichen werden und/oder für weitere Berechnungsschritte verwendet werden. Dies ist besonders dann vorteilhaft, wenn ein Vergleich der Zeitwerte über ein gegen die Zeitauflösung sehr großes Zeitintervall erfolgen soll, denn dann können die Momentanwerte des analogen Zeitsignals z.B. mit den Uhrwerten einer digitalen Uhr zur Berechnung eines Zeitwerts kombiniert werden.

10

In einer Ausführungsform mit nur einer zentralen Zeitberechnungseinheit oder mit wenigen Zeitberechnungseinheiten ist es vorteilhaft, zwischen dem Abtaster und der Zeitberechnungseinheit einen Multiplexer anzuordnen. Der Multiplexer kann dann etwa die von den Abtastern anderer Detektorkanäle stammenden Momentanwerte an die
15 Zeitberechnungseinheit in geordneter Form weiterleiten. Der Multiplexer kann aber auch die von den verschiedenen Abtastern eines einzigen Detektorkanals stammenden Momentanwerte seriell an die Zeitberechnungseinheit weiterleiten. Dann müssen die entsprechenden Berechnungseinheiten nicht parallel in der Zeitberechnungseinheit ausgeführt werden.

20

Die Erfindung betrifft auch ein bildgebendes Gerät, in dem ein Detektor der oben beschriebenen Art zum Einsatz kommt. Hierbei kann es sich um einen PET oder TOF-PET Scanner handeln oder um ein anderes nuklearmedizinisches Gerät. Des weiteren sind auch bildgebende Medizingeräte, die mit Röntgenstrahlung arbeiten, vorteilhaft
25 mit einem solchen Detektor auszustatten. Auch sind solche Geräte in der Untersuchung von Tieren, Pflanzen oder nicht-lebenden Objekten einsetzbar.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen.

30

Die Erfindung wird im folgenden durch Ausführungsbeispiele und Figuren beschrieben.

Es zeigen

- Fig. 1 Eine Ausführungsform eines medizinischen Bildgebungsgeräts, wie es in der Nuklearmedizin eingesetzt wird,
- 5 Fig. 2 eine Ausführungsform eines Detektor zur Detektion von Gamma-Quanten,
- Fig. 3 eine Auswerteelektronik mit Multiplexer und Zeitberechnungseinheit, die ein Zeitsignal verwendet,
- Fig. 4 eine Auswerteelektronik mit Multiplexern und Zeitberechnungseinheit, die zwei Zeitsignale verwendet,
- 10 Fig. 5 den Zeitverlauf von zwei zueinander orthogonalen Zeitsignalen gleicher Frequenz mit einem eingezeichneten Beispiel zur Erklärung der Eindeutigkeit eines Zwei-Werte-Tupels,
- Fig. 6 eine Auswerteelektronik mit Multiplexern und Zeitberechnungseinheit, die zwei Zeitsignale verwendet, wobei ein Zeitsignal mittels einer Kopplung an das
- 15 andere Zeitsignal generiert wird,
- Fig. 7 eine Auswerteelektronik mit damit verbundenen Multiplexern und Zeitberechnungseinheit, die vier Zeitsignale verwendet, und
- Fig. 8 den Zeitverlauf von zwei Paaren zueinander orthogonaler Zeitsignale mit unterschiedlicher Frequenz mit einem eingezeichneten Beispiel zur Erklärung
- 20 der Eindeutigkeit eines Vier-Werte-Tupels.

Fig. 1 zeigt eine mögliche Ausführungsform eines für medizinische Zwecke genutzten Bildgebungsgeräts, das in dieser Ausführungsform zwei Detektoren 30, 30' aufweist, die an einer Rahmenstruktur 31 montiert sind. Mittels eines Patiententisches 32 kann

25 ein beliebiges zu untersuchendes Patientenvolumen zwischen die beiden Detektoren platziert werden. Dazu ist entweder der Patiententisch 32 verschiebbar oder die Rahmenstruktur 31 ist beweglich gestaltet. Andere Ausführungsformen weisen nur einen Detektor 30 auf, der ringförmig geschlossen ist oder es gibt drei Detektoren, die um das zu untersuchende Volumen herum angeordnet werden können. Anstatt einer

30 durchgehenden Rahmenstruktur 31 können die Detektoren auch einzeln mittels Armen z.B. an der Raumdecke oder am Boden montiert sein. In der gezeigten Ausführungs-

form ist die Rahmenstruktur 31 derart drehbar ausgestaltet, dass tomographische Daten (beispielsweise PET-Daten zur Rekonstruktion einer Positronen-Emitter-Verteilung) aufgenommen werden können.

- 5 In Fig. 2 ist eine Ausführungsform eines Detektors 30 gezeigt, wie er in der Nuklearmedizin zur Detektion von Gamma-Quanten benutzt wird. Vor dem Detektor 30 oder auch ggf. in ihn integriert befindet sich oft ein Kollimator 33, der Quanten aus unerwünschten Richtungen etwa durch ausgerichtete Bleiwände abfängt. In anderen Ausführungsformen wird ein solcher Kollimator nicht benötigt, etwa bei einem PET-
- 10 Detektor, bei dem die Emissionsrichtung durch koinzidentes Detektieren von zwei in Gegenrichtung abgestrahlten Quanten bestimmt werden kann. Der Detektor weist typischerweise einen Szintillator 34 auf. Ein Szintillator wandelt ankommende Quanten in Licht um. Der Szintillator kann beispielsweise kristallin sein, aus gepresstem oder aufgedampftem Pulver bestehen oder keramisch sein. In der gezeigten Ausführungs-
- 15 formen gibt es eine als Diffusor dienende Lichtkopplung 35 zwischen Szintillator 34 und den nachfolgend angeordneten Photomultipliern 36. Ein Photomultiplier wandelt das ankommende Licht in ein elektrisches Signal. Den Photomultipliern 36 nachgeschaltet ist eine Verarbeitungselektronik 37, die Parameter wie den Detektionsort auf dem Detektor, die detektierte Energie und die Detektionszeit bestimmt. Solche
- 20 Detektoren können eine eindimensionale oder zweidimensionale Anordnung von Photomultipliern haben. Bei einer anderen Ausführungsform sind unter dem Szintillator 34 Photodioden angeordnet, die ebenfalls das ankommende Licht in ein elektrisches Signal wandeln. Eine wiederum andere Ausführungsform eines Detektors besteht aus einem direkt konvertierenden Material, das zwischen zwei Elektroden angeordnet ist,
- 25 wobei das direkt konvertierende Material ankommende Quanten in Ladungsträger wandelt und das zwischen den Elektroden angelegte elektrische Feld erzeugt dann ein elektrisches Signal. Gemeinsam ist diesen Ausführungsformen eine ein- oder mehrstufig aufgebaute Konvertervorrichtung, die Detektionsereignisse (also auf den Detektor auftreffende Quanten, die eine Wechselwirkung mit der Konvertervorrichtung
- 30 eingehen) in elektrische Signale wandelt. Anstatt wie in der Ausführungsform gezeigt, kann der Detektor auch gekrümmt sein, etwa derart, dass der Detektor selbst ein Ring

ist oder sich aus mehreren Detektoren zu einem Ring zusammen setzen lässt. Auch eine zweidimensionale Krümmung, etwa zur Ausbildung einer Kugelschalenanordnung, sind denkbar.

- 5 Fig. 3 zeigt eine erfindungsgemäße Auswertelektronik 1 in einer Ausführung mit einem analogen Zeitsignal. Das analogen Zeitsignal Z1 (siehe auch Fig. 5 und Fig. 8) wird von einer Zeitsignalquelle 10 erzeugt. In einem Fall mit mehreren Detektorkanälen ist die Zeitsignalquelle 10 vorteilhaft als zentrale Zeitsignalquelle einzusetzen, die mehrere Detektorkanäle versorgt. Über den Eingang 2 empfängt die
- 10 Auswertelektronik das elektrische Signal der Konvertervorrichtung, das bei einem Detektionsereignis erzeugt wird. Ein solches elektrisches Signal hat typischerweise einen ausgedehnten Verlauf, der Parameter wie die Schnelligkeit des Szintillators, die angelegte Spannung zwischen den Elektroden eines Direktkonverters, der Dicke des Konversionsmaterials etc. widerspiegelt. Das elektrische Signal steigt typischerweise
- 15 erst bis zu einem Maximum an, um dann, langsamer als beim Anstieg, wieder abzusinken. Ein Integrationsverstärker 3 hat einen Ausgang 4, der ein dem integrierten elektrischen Signal proportionales Signal zur Verfügung stellt, das der Gesamtenergie des Detektionsereignisses proportional ist. Ein solches Signal ist dann bedeutend, wenn etwa gestreute Quanten durch Bestimmung ihrer geringeren Gesamtenergie von den
- 20 ungestreuten Quanten mit 511 keV unterschieden werden sollen. Der Integrationsverstärker 3 hat einen weiteren Ausgang, über den ein Auslösesignal oder Triggersignal 5 weitergeleitet wird. Dieses Auslösesignal 5 wird beispielsweise dann erzeugt, wenn das elektrische Signal eine vorgegebene Intensität erreicht oder wenn das integrierte Signal einen vorgegebenen Schrankenwert überschreitet. Hier können verschiedene
- 25 Realisierungen zur Anwendung kommen, etwa ein CFD (Constant Fraction Discriminator), um etwa eine Amplitudenabhängigkeit des der Auslösung zu korrigieren. Das Auslösesignal 5 löst eine Abtast-Halte-Schaltung 6 (auch Sample&Hold genannt) aus, die den Momentanwert E1 (siehe auch Fig. 5 und Fig. 8) des analogen Zeitsignals misst und an ihrem Ausgang zur Verfügung stellt. Eine für
- 30 Zeitauflösungen um 0.1 ns geeignete schnelle Abtast-Halte-Schaltung ist einem Fachmann bekannt. Der Abtast-Halte-Schaltung 6 kann ein Multiplexer 12 nach-

geschaltet sein. Dies ist dann vorteilhaft, wenn die Momentanzeitwerte E1 von verschiedenen Abtast-Halte-Schaltungen 6 einem Ziel (z.B. einer Zeitberechnungseinheit 23) zugeführt werden sollen. Da die Momentanwerte E1 von den Abtast-Halte-Schaltungen 6 nicht zu definierten Zeitpunkten ankommen, kann der Multiplexer

5 beispielsweise einen Speicher aufweisen, der regelmäßig ausgelesen wird. Um den Momentanwert E1 des analogen Zeitsignals Z1 mit anderen Momentanwerten anderer Detektionseignisse direkt vergleichbar zu machen, wird der Momentanwert E1 in einer Zeitberechnungseinheit 23 in einen Zeitwert umgewandelt. In der gezeigten Ausführungsform wird der Momentanwert E1 in der Zeitberechnungseinheit 23 einem

10 Analog-Digital-Konverter (ADC) 18 zugeführt. Der ADC 18 digitalisiert den analog übertragenen Momentanwert E1. Bittiefe des ADC 18 (etwa 8 bit oder 12 bit) und Schnelligkeit werden der gewünschten Zeitauflösungsgenauigkeit und der erwarteten Detektionsrate (Detektionseignisse pro Zeit) angepasst. Hierbei ist zu erwähnen, dass bei der hier gezeigten Ausführungsform mit nur einem analogen Zeitsignal, die

15 Genauigkeit begrenzt wird durch den Steigungsverlauf des Zeitsignals Z1. Ist das analogen Zeitsignal etwa sinusförmig, dann hat es in den Extrema eine Steigung, die sehr gering ist. Damit werden hier hohe Anforderungen an den ADC 18 gestellt, wenn die Zeitauflösung klein gegen die Periodendauer des sinusförmigen analogen Zeitsignals sein soll. Nach dem ADC 18 wird der digitalisierte Momentanwert dann

20 mittels einer Look-Up-Tabelle 20 in einen Zeitwert umgewandelt. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Verlauf des analogen Zeitsignals bekannt ist. Der bekannte Verlauf des analogen Zeitsignals wird in der Look-Up Tabelle als Wertepaare von Relativzeitwerten und Amplitudenwerten gespeichert. Dem digitalisierten Momentanwert wird in dieser Ausführungsform der Relativzeitwert zugeordnet, dessen

25 tabellierter Amplitudenwert dem digitalisierten Momentanwert am nächsten kommt, oder es kann eine Interpolation zur Bestimmung des Relativzeitwertes aus den tabellierten Relativzeitwerten und Amplitudenwerten durchgeführt werden. Die Relativzeiten innerhalb eines Eindeutigkeitsintervalls können dann direkt miteinander verglichen werden oder für die Berechnung weiterer Daten benutzt werden. Alternativ

30 zu einer Look-Up-Tabelle kann auch direkt der Arcus-Sinus oder Arcus-Cosinus des Momentanwerts in einer entsprechenden Prozessierungseinheit berechnet werden.

Um absolute Zeitwerte zu bestimmen, sodass eine Vergleichbarkeit der mit der Zeitberechnungseinheit 23 bestimmten Zeitwerte über große Zeitintervalle ermöglicht wird, ist in der gezeigten Ausführung eine digitale Uhr C mit der Zeitberechnungseinheit 23 verbunden. Diese digitale Uhr C, die mit der Zeitsignalquelle gekoppelt sein kann, zählt beispielsweise die einzelnen Eindeutigkeitsintervalle. So kann das analoge Zeitsignal ein Rampensignal sein, das nach Erreichen des Maximalwertes immer wieder auf den Startwert zurückgefahren wird. Die digitale Uhr zählt dann die bereits durchgefahrenen Rampen. Die digitale Uhr C ist demnach eine mit niedriger Frequenz zählende Uhr. Ist die Zeitdauer für das Durchfahren einer Rampe bekannt (Zeitdauer I), kann die Zeitberechnungseinheit 23 aus dem digitalisierten Momentanwert (Zeitwert M) der Rampe und dem digitalen Wert für die Anzahl an durchgefahrenen Rampen (Anzahlwert A) ein Absolutzeitwert $T = M + A \cdot I$ bestimmt werden. Anstelle eines periodischen Rampensignals kann vorteilhaft auch ein Dreieckssignal verwendet. Bei Dreieckssignalen werden die hohen Frequenzanteile stärker unterdrückt als bei einem periodischen Rampensignal (Sägezahn), wie man aus der Fourier-Entwicklung der Signale erkennen kann. Bei einem dreiecksförmigen Signal oder einem sinusförmigen Signal zählt die Uhr die Zeit in Einheiten der halben Periode (jeweils von einem Extremum zum nächsten Extremum).

In Fig. 4 ist eine Ausführungsform der Auswerteelektronik 1 mit zwei Zeitsignalquellen 10, 11 gezeigt. Die Zeitsignalquellen liefern je das analoge Zeitsignal Z1 bzw. das analoge Zeitsignal Z2. Durch das Auslösesignal 5 werden dann zwei Abtast-Halte-Schaltungen 6 und 7 ausgelöst, die jeweils den Momentanwert E1 des analogen Zeitsignals Z1 bzw. den Momentanwert E1' des analogen Zeitsignals Z2 bestimmen. Die Momentanwerte werden dann der Zeitberechnungseinheit 23 zugeführt. Auch wenn die Uhr C hier nicht eingezeichnet ist, so ist doch zu verstehen, dass sie auch in dieser oder jeden anderen Ausführungsform eingesetzt werden kann, um einen großen Eindeutigkeitsbereich der Zeitbestimmung zu erlangen.

In Fig. 5 ist ein Zeitsignalverlauf für sinusförmige Zeitsignale Z1 und Z2 gezeigt. Mit

- E1 ist der durch Abtastung des analogen Zeitsignals Z1 bei dem Zeitwert $t = 0.125$ bestimmte Momentanwert gekennzeichnet und als ausgefüllte Raute in den Zeitsignalverlauf eingezeichnet. Mit E2 ist ein Momentanwert bezeichnet, der zur Abtastzeit $t = 0.875$ den gleichen Wert $E2 = E1$ ergeben würde. Es ist ersichtlich, dass bei einer Ausführungsform nach Fig. 3 mit nur einem sinusförmigen analogen Zeitsignal Z1, das Eindeutigkeitsintervall $P_{1/2}$ des Momentanwertes eine halbe Periode ist. Je nach Bittiefe des ADCs 18 und gewählter Frequenz des sinusförmigen analogen Zeitsignals ergibt sich die Zeitauflösung. Wie bereits erwähnt, wird die Zeitauflösung in dieser Ausführung durch das Steigungsverhalten des Sinussignals in den Extrema begrenzt.
- 10 Allerdings kann bei einem 8-bit ADC dennoch eine Periodendauer des analogen Zeitsignals verwendet werden, die einen Faktor 10 länger ist als die gewünschte zeitliche Auflösung, sodass diese Ausführungsform bereits effektiv und kostengünstig die gestellte Aufgabe löst. Da die Zuordnung zwischen Momentanwert und Zeitwert bei zwei aufeinanderfolgenden Halbperioden gespiegelt ist, können in der
- 15 Ausführungsform mit digitaler Uhr C zwei Look-Up-Tabellen verwendet, zwischen denen je nach geradem oder ungeradem Zählstand der Uhr gewechselt wird, oder bei der Zeitwertberechnung selbst kann die Spiegelung berücksichtigt werden. In der Zeitberechnungseinheit 23 in dieser Ausführung kann auch berücksichtigt werden, dass bei einem Momentanwert E1, der in der Nähe eines Maximums liegt, die Unsicherheit
- 20 in der Abtastung (sogenanntes Rauschen) zu einer Mehrdeutigkeit bei der Zeitberechnung führen kann und deshalb dem Momentanwert E1', der dann in einem Bereich mit großer Steigung liegt, mehr Bedeutung beikommt.

- Fig. 5 zeigt auch den Zeitsignalverlauf eines zweiten, zum ersten analogen Zeitsignal Z1 orthogonalen (also um 90 Grad phasenverschobenen) analogen Zeitsignals Z2 mit gleicher Frequenz wie Z1. Zum Abtastzeitpunkt $t = 0.125$ wird bei dem analogen Zeitsignal Z2 der Momentanwert E1' gemessen. Dieser wiederholt sich auch bei einem Abtastzeitpunkt $t = 0.375$. Es zeigt sich daher, dass das Eindeutigkeitsintervall bei Verwendung von zwei sinusförmigen, phasenverschobenen Zeitsignalen gleicher
- 30 Frequenz allgemein eine Periode P_1 beträgt. Sind die beiden analogen Zeitsignale orthogonal zueinander, wie in Fig. 5 gezeigt, dann ist zusätzlich bei einem Maximum

oder Minimum des einen analogen Zeitsignals ein Nulldurchgang des anderen analogen Zeitsignals zu finden. Damit befinden sich nie beide Zeitsignale gleichzeitig in einem Zustand mit geringer Steigung. Die Zeitpunktbestimmung kann in dieser Ausführungsform noch präziser gestaltet werden. Bei Einsatz eines 8-bit ADC kann eine Periodendauer des analogen Zeitsignals verwendet werden, die einen Faktor 100 größer ist als
5 die gewünschte zeitliche Auflösung. Die zu übertragende Frequenz wird so nochmals um eine Größenordnung gegenüber der Ausführung mit einem einzelnen analogen Zeitsignal verringert.

10 In Fig. 6 wird eine Ausführungsform der Auswerteelektronik 1 gezeigt, die der Ausführung nach Fig. 4 entspricht, bei der allerdings die zweite Zeitsignalquelle 21 an die erste Zeitsignalquelle 10 gekoppelt ist. In der gezeigten Ausführungsform wird die Kopplung über eine Phasenregelschleife 22 realisiert und die Zeitsignalquellen 10, 21 sind beide Oszillatoren, die sinusförmige Zeitsignale Z1 und Z2 erzeugen. Anstelle
15 sinusförmiger Zeitsignale können beispielsweise auch Dreieckssignale und Sägezahnsignale Verwendung finden. Die Phasenregelschleife 22 stellt hierbei sicher, dass der Oszillator 21 ein dem analogen Zeitsignal Z1 der ersten Zeitsignalquelle 10 entsprechendes analoges Zeitsignal erzeugt. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Phasenregelschleife 22 so eingestellt, dass die analogen Zeitsignale Z1 und Z2 der
20 ersten Zeitsignalquelle 10 und des Oszillators 21 orthogonal sind. Eine solche Ausführungsform hat den Vorteil, dass die Zeitsignalquelle 10 als zentrale Zeitsignalquelle genutzt werden kann, die alle oder einen Teil der Detektorkanäle mit dem analogen Zeitsignal Z1 versorgt. Der Oszillator 21 kann hingegen lokal am Detektorkanal realisiert sein. Eine Zuführung des zweiten Zeitsignals über große Entfernungen
25 von zentraler zweiter Zeitsignalquelle 11 zu den verschiedenen Detektorkanälen entfällt dann.

Fig. 7 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Auswerteelektronik 1. Es gibt vier Zeitsignalquellen 10, 11, 10' und 11', die den Abtast-Halteschaltungen 6, 7, 6' und 7' die vier analogen Zeitsignale Z1, Z2, Z3 und Z4 zuführen.
30 Wenn aufgrund eines Detektionsereignisses der Auslöser 3 ein Auslösesignal 5 erzeugt,

- dann werden die Momentanwerte der vier analogen Zeitsignale Z1, Z2, Z3 und Z4 abgetastet und, ggf. unter Verwendung von Multiplexern 12, 13, 12' und 13', an eine Zeitberechnungseinheit 23 weitergeleitet. Die hier gezeigte Ausführungsform der Zeitberechnungseinheit 23 weist zwei Zeitberechnungsschaltungen 25 und 25' auf, die
- 5 jeweils der Zeitberechnungseinheit aus Fig. 4 entsprechen. Jede Zeitberechnungsschaltung 25, 25' weist zwei ADCs 18, 18' und eine Look-Up-Tabelle 20, 20' auf. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die analogen Zeitsignale Z1 und Z2 sinusförmig, orthogonal und weisen die Frequenz f_1 auf; die analogen Zeitsignale Z3 und Z4 sind ebenfalls sinusförmig und orthogonal, weisen aber die Frequenz f_2 auf.
- 10 Haben die Frequenzen ein Verhältnis von $f_1/f_2 = m/n$, wobei m und n ganze Zahlen sind, dann erweitert sich das Eindeutigkeitsintervall der zu einem Zeitpunkt abgetasteten Momentanwerte der Zeitsignale auf m Perioden der Frequenz f_1 bzw. auf n Perioden der Frequenz f_2 . Dies wird mittels Fig. 8 erklärt. Die Zwischenwerte, die für die
- 15 Momentanwerte jedes Zeitsignalpaars Z1, Z2 und Z3, Z4 in den Zeitberechnungsschaltungen 25, 25' berechnet worden sind, werden einer weiteren Look-Up-Tabelle 24 zugeführt, die aus den beiden Zwischenwerten einen einzigen Zeitwert bestimmt, der die Zeit im erweiterten Eindeutigkeitsintervall angibt. Hierbei ist zu verstehen, das bei dieser Ausführungsform beispielsweise die Zeitsignalquellen 11 und 11' als lokale Oszillatoren realisiert werden können, wie dies in Fig. 6 für ein Zeitsignalpaar gezeigt
- 20 worden war. Auch ist es möglich, drei Zeitsignalquellen 10, 11, 10' zu verwenden, die etwa ein Paar sinusförmiger Zeitsignale und ein rampenförmiges Zeitsignal generieren.

In Fig. 8 ist ein Beispiel für vier analoge Zeitsignale Z1, Z2, Z3 und Z4 gezeigt, wobei die Zeitsignale Z1 und Z2 zu den Zeitsignalen Z3 und Z4 ein Frequenzverhältnis von 4

25 zu 5 aufweisen. Die zu einem Zeitpunkt t (durch eine gestrichelte Linie angedeutet) abgetasteten Momentanwerte der vier Zeitsignale sind durch Rauten in die Zeitsignalverläufe eingetragen. Die für die jeweiligen Zeitsignale korrespondierenden Momentanwerte zu anderen Zeiten als t sind als ausgefüllte Rauten eingetragen. Für die jeweiligen Zeitsignalpaare sind die übereinstimmenden Zweier-Tupel von Momentanwerten durch

30 einen ausgefüllten Kreis jeweils unterhalb der beiden Zeitsignalverläufe eingetragen. Wie bereits bei Fig. 5 erklärt, sind die Zweier-Tupel der sinusförmigen, zueinander

orthogonalen Zeitsignale jeweils für eine Periode des Zeitsignals eindeutig. Für das Vierer-Tupel der Momentanwerte aller vier Zeitsignale gibt es nur eine Übereinstimmung im gezeigten Zeitintervall, die durch einen vertikal gestreiften Kreis eingezeichnet ist. Das Eindeutigkeitsintervall erhöht sich bei dieser Wahl der Zeitsignale um das Fünffache der Periodenlänge der Zeitsignale Z1 und Z2 bzw. um das Vierfache der Periodenlänge der Zeitsignale Z3 und Z4.

PATENTANSPRÜCHE

1. Detektor zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen, mit
- einer Konvertervorrichtung (34, 35, 36), die im Betriebszustand bei einem Detektionsereignis ein elektrisches Signal liefert, und
 - einer Auswerteelektronik (1) mit
- 5 ▪ mindestens einem Auslöser (3), der an die Konvertervorrichtung (34, 35, 36) gekoppelt ist und der dazu ausgestattet ist, ein dem elektrischen Signal zeitlich zugeordnetes Auslösesignal (5) zu liefern,
- mindestens einer ein erstes analoges Zeitsignal (Z1) liefernden Zeitsignalquelle (10), und
- 10 ▪ mindestens einen an den Auslöser (3) gekoppelten ersten Abtaster (6), der dazu ausgestattet ist, einen dem Auslösesignal (5) zeitlich zugeordneten ersten Momentanwert (E1) des ersten analogen Zeitsignals (Z1) zur Verfügung stellen.
- 15 2. Detektor nach Anspruch 1,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass das erste analoge Zeitsignal (Z1) eine Periode hat.
3. Detektor nach Anspruch 1 oder 2,
20 dadurch gekennzeichnet,
 dass der Detektor mindestens eine Uhr (C) aufweist, die dazu vorgesehen ist, die Zeit in Einheiten eines Eindeutigkeitsintervalls ($P_{1/2}$, P_1) des ersten analogen Zeitsignals zu messen.

4. Detektor nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Detektor in mindestens zwei Detektorkanäle unterteilt ist und jeder
Detektorkanal mindestens je einem der Auslöser (3) und einem der Abtaster (6)
5 zugeordnet ist.
5. Detektor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteelektronik (1) eine ein zweites analoges Zeitsignal (Z2) liefernde
10 zweite Zeitsignalquelle (11, 21) aufweist und es einen zweiten Abtaster (7) gibt, der
dazu ausgestattet ist, einen dem Auslösesignal (5) zeitlich zugeordneten zweiten
Momentanwert (E1') des zweiten analogen Zeitsignals (Z2) zur Verfügung zu stellen.
6. Detektor nach Anspruch 5,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite analoge Signalquelle (Z2) an die erste analoge Signalquelle (Z1)
gekoppelt ist.
7. Detektor nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
20 dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteelektronik (1) eine an den ersten Abtaster (6) gekoppelte
Zeitberechnungseinheit (23) aufweist, wobei die Zeitberechnungseinheit (23) dazu
ausgestattet ist, einen Zeitwert zu berechnen, der dem ersten Momentanwert (E1)
zugeordnet ist.
25
8. Detektor nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass zwischen dem Abtaster (6) und der Zeitberechnungseinheit (23) mindestens ein
Multiplexer (12) angeordnet ist.

9. Bildgebendes Gerät mit einem Detektor nach einem der Ansprüche 1 – 8.

10. Verfahren zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen, beinhaltend die Schritte

- 5 • Konversion eines Detektionsereignisses in ein elektrisches Signal,
 - Erzeugen eines dem elektrischen Signal zeitlich zugeordneten Auslösesignals(5),
 - Abtastung mindestens eines ersten analogen Zeitsignals (Z1) in zeitlicher Zuordnung zu dem Auslösesignal (5),
 - Bereitstellung eines ersten Momentanwertes (E1) des ersten analogen Zeitsignals
- 10 (Z1).

ZUSAMMENFASSUNG

Detektor zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen

- Die Erfindung betrifft einen Detektor zur zeitlich aufgelösten Registrierung von Detektionsereignissen, mit einer Konvertervorrichtung (34, 35, 36), die im
- 5 Betriebszustand bei einem Detektionsereignis ein elektrisches Signal liefert, und einer Auswerteelektronik (1) mit mindestens einem Auslöser (3), der an die Konvertervorrichtung (34, 35, 36) gekoppelt ist und der dazu ausgestattet ist, ein dem elektrischen Signal zeitlich zugeordnetes Auslösesignal (5) zu liefern, mindestens einer
- 10 einen an den Auslöser (3) gekoppelten ersten Abtaster (6), der dazu ausgestattet ist, einen dem Auslösesignal (5) zeitlich zugeordneten ersten Momentanwert (E1) des ersten analogen Zeitsignals (Z1) zur Verfügung stellen.

Figur 3

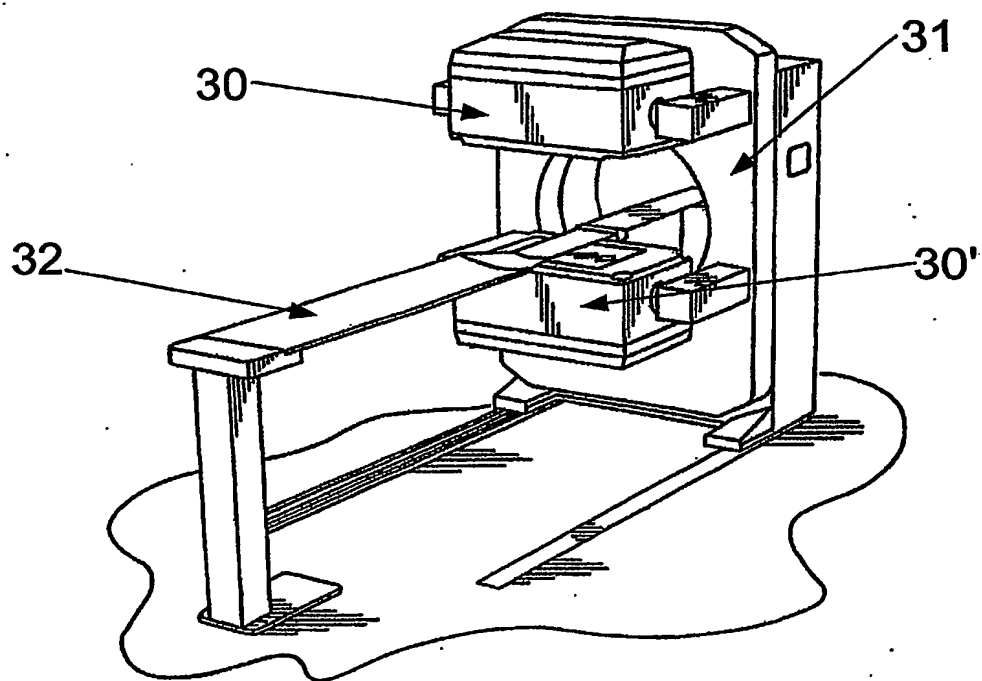


FIG. 1

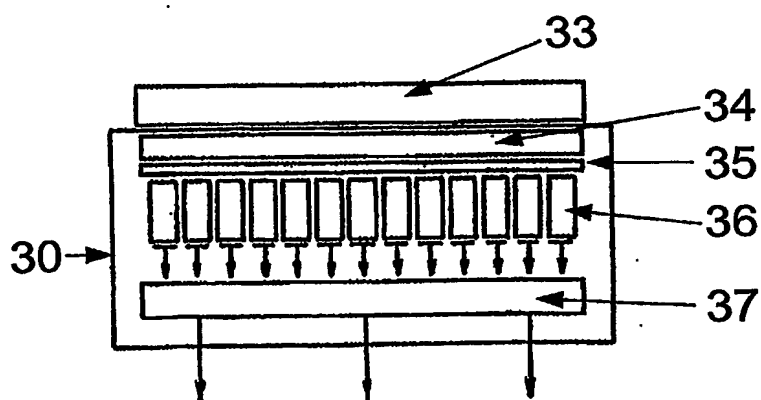


FIG. 2

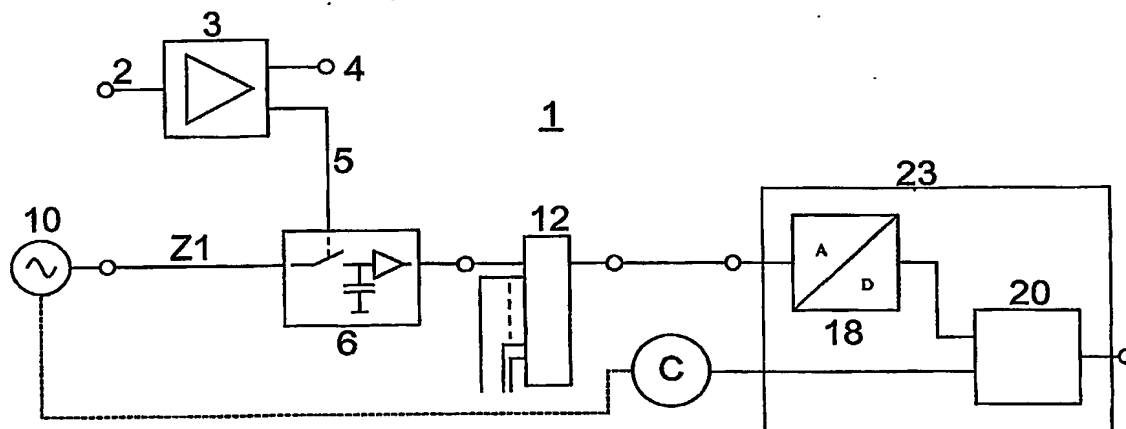


FIG. 3

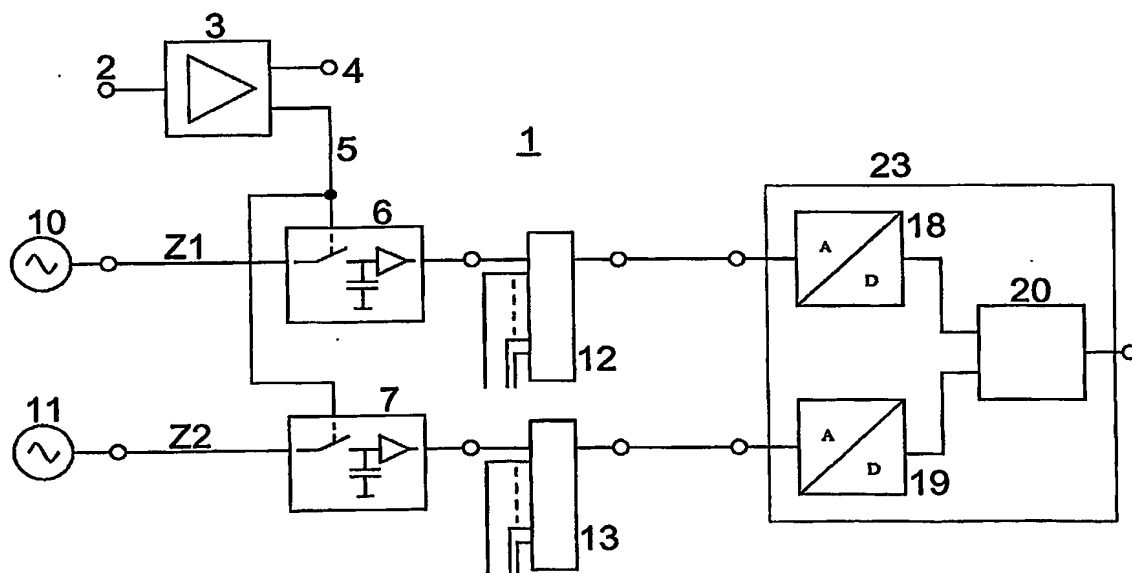


FIG. 4

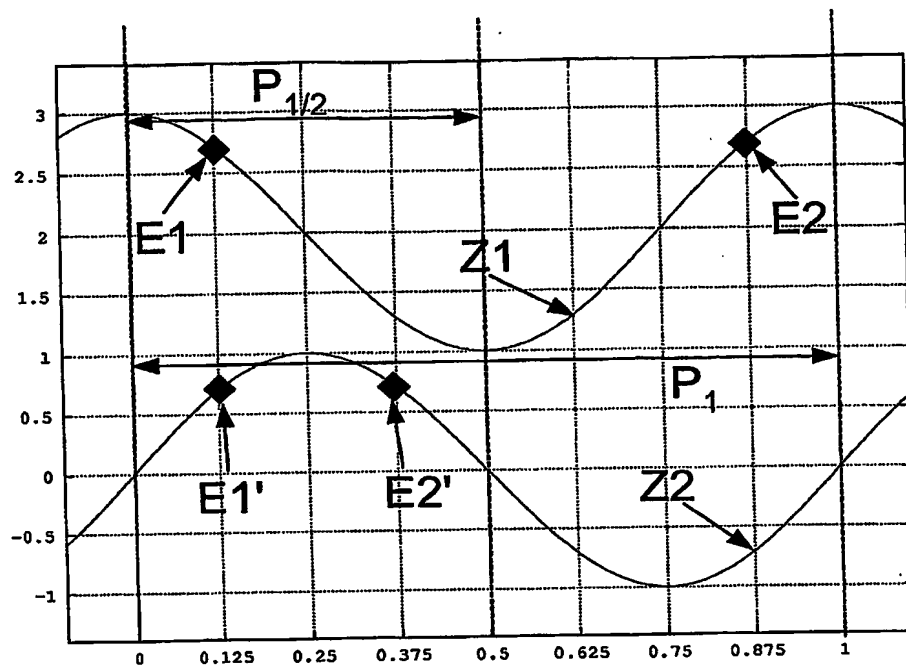


FIG. 5

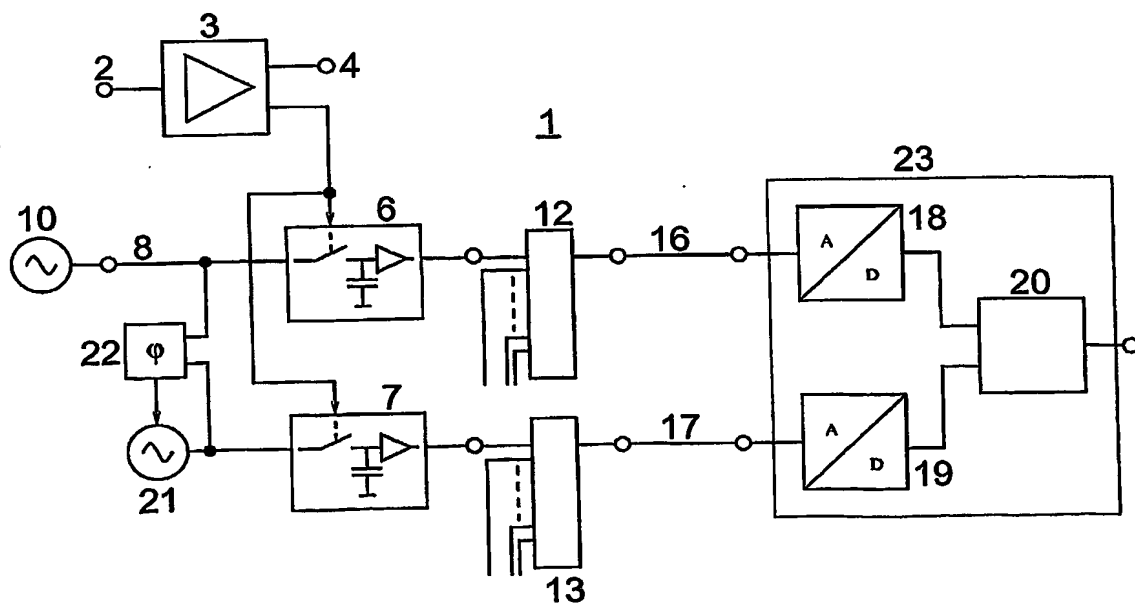


FIG. 6

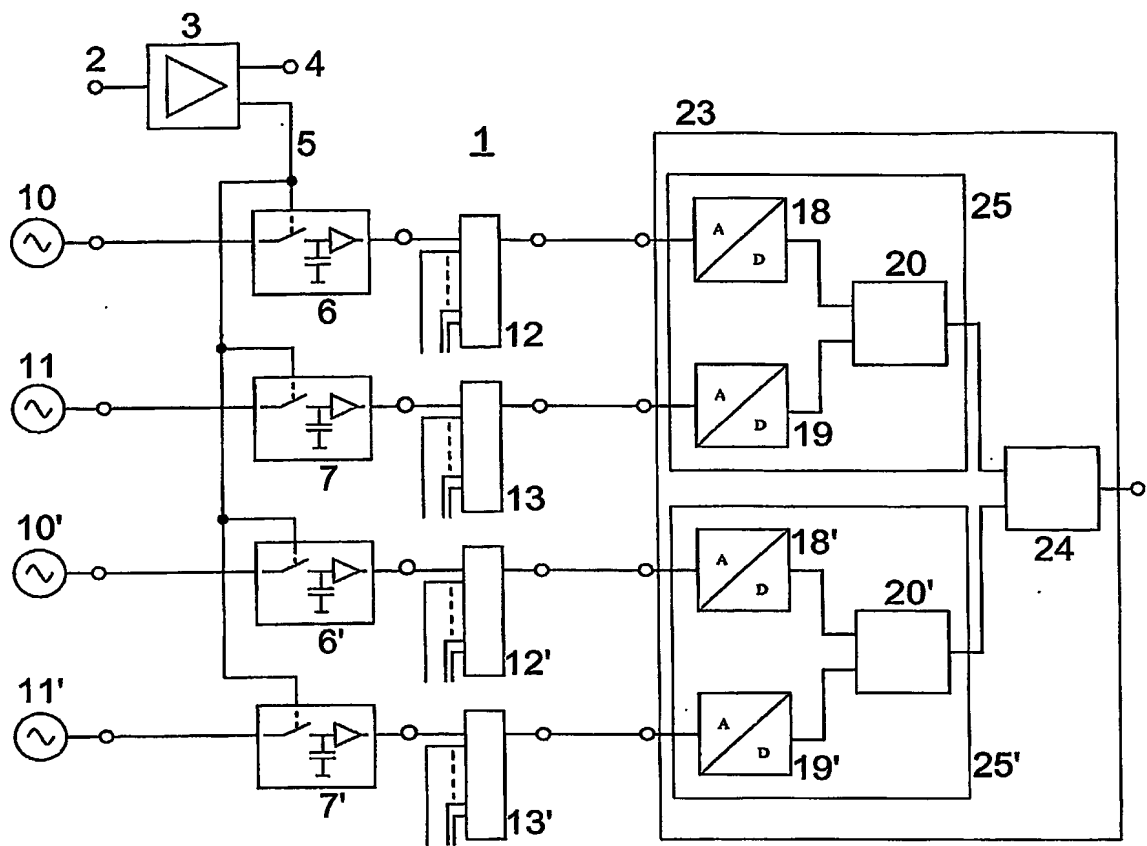


FIG. 7

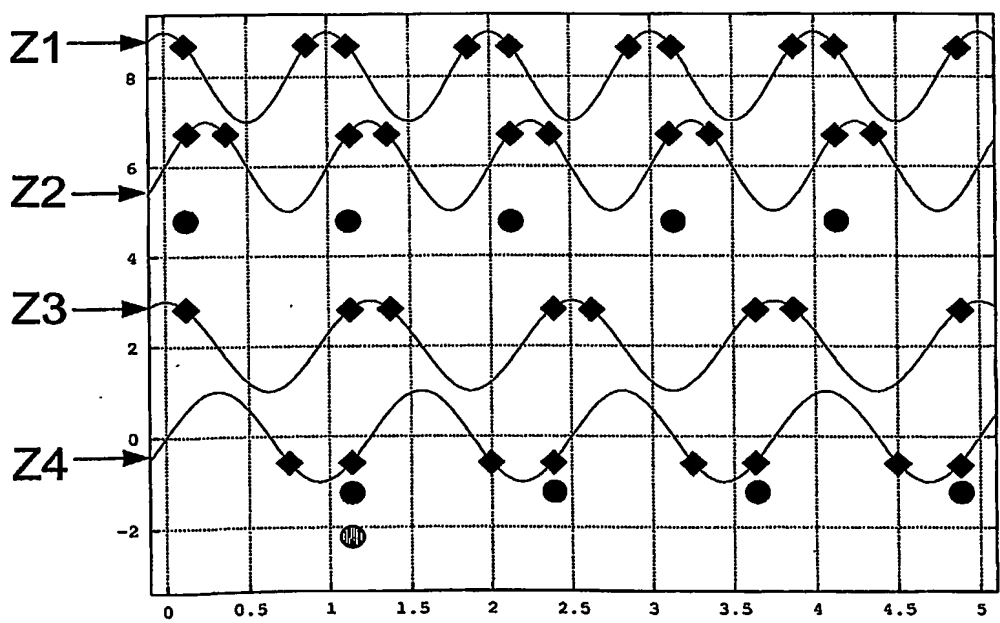


FIG. 8